

Е. Л. Авербух, А. А. Куркин, О. Е. Хвостова

*Нижегородский государственный технический университет
им. П. Е. Алексеева, Averbukh.lena@gmail.com*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ ВБЛИЗИ ОПОР МОСТОВ И ДРУГИХ ПОДВОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Взаимодействие оползневых процессов с подводными сооружениями и трубопроводами представляет собой актуальную задачу газо- и нефтедобычи. Все более активно начинает использоваться океанский шельф, увеличиваются объемы берегового техногенного строительства. Оползание грунта вблизи опор мостов, трубопроводов и других подводных конструкций должно быть оценено и спрогнозировано.

В рамках данной работы был реализован программный комплекс. В основе используемой модели лежит трехмерная система уравнений Навье – Стокса, описывающая движение оползневого потока вблизи подводных конструкций различной природы. В качестве основы моделирования был выбран гидродинамический метод сглаженных частиц (SPH, Smoothed Particle Hydrodynamics), который является одним из бессеточных методов, использующих свободно-лагранжевое моделирование потоков жидкости. Этот метод был впервые предложен в 1977 г. Леоном Льюси и независимо Бобом Джингольдом и Джо Монаганом и применялся для астрофизических расчетов. В работе рассмотрено применение данного метода для расчета течений несжимаемой жидкости со свободной поверхностью.

Идея метода состоит в дискретизации сплошной среды конечным набором лагранжевых частиц, определяющих поток.

Это означает, что частицы двигаются вместе с жидкостью. В сравнении с эйлеровым описанием это значит, что любое значение искомого поля теперь зависит только от времени, т. е. в лагранжевом описании $dA/dt = \partial A/\partial t$, что значительно упрощает исходные уравнения. При этом предполагается, что все взаимодействия между частицами ограничены конечным объемом радиуса h , вне которого они не взаимодействуют. В этом случае вычислительная сложность пересчета значений неизвестной функции на каждом временном шаге будет равна $O(NM)$, где N — общее число частиц, а M — число взаимодействующих частиц.

Модель была модифицирована для учета взаимодействия вязких потоков между собой — для реализации граничных условий были использованы различные методы. Во-первых, это классический метод сглаженных частиц, использующий “виртуальные” частицы (частицы Монагана), которые располагаются вдоль твердой границы в один ряд, не меняют своих координат и действуют на частицы подвижной среды посредством некоторого потенциала взаимодействия.

Второй подход предполагает, что частицы располагаются вдоль границы в несколько слоев (частицы Морриса). При этом значения их характеристик вычисляются, исходя из их значений в частицах подвижной среды. Это позволяет преодолеть одну из главных проблем метода сглаженных частиц — несимметричность функции ядра вблизи границы.

В рамках третьего подхода частицам потока при приближении к границе ближе некоторого фиксированного расстояния передается потенциал взаимодействия путем учета дополнительных слагаемых в соответствующих силах, например, силе давления.

При формулировке граничных условий на свободной поверхности частицы, принадлежащие свободной границе, идентифицируются по нормали к поверхности, а на поток действует дополнительная сила — поверхностного напряжения.

Алгоритм моделирования можно представить следующим образом. На каждой временной итерации выполняется следующая последовательность действий:

1. определяется радиус взаимодействия для каждой частицы; фактически происходят образование структур частиц, их инициализация и привязка к батиметрии и топологии местности;

2. вычисляются плотность и скорость частиц, формируются граничные условия;

3. выполняется перерасчет положения частиц по схеме “предиктор – корректор”.

Проведенные исследования показали возможность применимости метода для данного круга задач. Основная схема метода записана в переменных Лагранжа, поэтому полностью консервативна и безусловно устойчива.

Представленные результаты поисковой научно-исследовательской работы получены в рамках реализации мероприятия 1.2.1 “Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук” ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009 – 2013 годы.